

УДК 612.014.42:595.123

ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ РЕГЕНЕРИРУЮЩИХ И НЕРЕГЕНЕРИРУЮЩИХ ПЛАНАРИЙ *DUGESIA TIGRINA* В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Ярмолюк Н.С.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: nat_yarm@mail.ru*

Показано, что переменное магнитное поле сверхнизкой частоты вызывает изменения инфрадианной ритмики скорости движения нерегенерирующих и регенерирующих планарий, что выражается в изменении структуры спектров и амплитудно-фазовых соотношений. Отмечено, что изменения инфрадианной ритмики скорости движения более выражены у нерегенерирующих планарий, чем у регенерирующих.

Ключевые слова: скорость движения, инфрадианная ритмика, переменное магнитное поле сверхнизкой частоты, планарии.

ВВЕДЕНИЕ

Зависимость биологической эффективности такого экологического фактора как переменное магнитное поле (ПеМП) сверхнизкой частоты (СНЧ) от исходного состояния показано на примерах позвоночных животных. Так, крысы с ограниченной подвижностью после гравитационных перегрузок [1] оказались более чувствительными к их действию, чем интактные. Для расширения этих представлений необходимы эксперименты на беспозвоночных животных с различным функциональным состоянием. В магнитобиологических экспериментах часто используются регенерирующие планарии. Именно на этих животных выяснены особенности действия комбинированных магнитных полей (МП), ослабленного МП и т.д. В то же время интактные планарии применяются относительно редко, особенности их реакций на действие ПеМП СНЧ не изучена. Одной из причин этого являлось и отсутствие адекватного метода оценки их реакции на действие различных стимулов. В нашей лаборатории разработан метод определения их скорости движения, а также определение инфрадианной ритмики (ИР) этого показателя. Поэтому целью исследования явилось сравнительное изучение реакций регенерирующих и нерегенерирующих планарий на действие ПеМП СНЧ по изменению ИР скорости их движения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использована лабораторная бесполовая раса планарий *Dugesia tigrina*, условия их содержания и кормления описаны ранее [2].

Для экспериментов использовали животных длиной $\approx 9 \pm 1$ мм, у которых движение осуществляется за счет ресничек, а не мускулатуры [3].

Планарий отбирали для опыта через три-четыре дня после кормления. Так как эксперимент выполнялся на интактных и регенерирующих планариях, было проведено две серии экспериментов. В каждой серии было выделено 2 группы животных по 25 особей в каждой, для которых поддерживался одинаковый режим освещенности и температуры. В отличие от традиционных исследований, в которых всех животных одной группы содержали в одном флаконе, в наших экспериментах каждое животное из выделенных групп помещалось в отдельный флакон с 20 мл воды, что позволило регистрировать СД каждой планарии ежедневно в течение 15-ти суточного эксперимента. Сроки проведения исследования определялись продолжительностью регенерации. Первая группа животных находилась в обычных условиях лаборатории (контрольные животные), вторая подвергалась влиянию ПеМП СНЧ в течение 3-х часов в сутки.

Для определения СД применяли компьютерные технологии анализа изображения. Для этого видеоизображения движущихся в воде червей регистрировались с частотой 30 кадров в одну секунду. СД планарии вычислялась отношением пройденного ею пути (мм) ко времени в одну секунду. Путь измерялся наложением двух участков одного видеоряда с соответствующей разницей во времени. Контрастирование проводилось при помощи стандартной операции «вычитания» для двух изображений [4].

В настоящем исследовании выбор параметров воздействующего ПеМП осуществлялся на основе оценки их физиологической и геофизической значимости. Выбранная частота 8 Гц является фундаментальной частотой ионосферного волновода [5], а, кроме того, близка к частоте некоторых биоритмов [6]. Величину магнитной индукции (50 нТл) выбирали с таким учетом, чтоб она была выше напряженности естественного ПеМП на данной частоте. Такой выбор обусловлен тем, что для этой интенсивности поля физиологические эффекты надежно воспроизводятся [1]. Экспериментальная установка состояла из катушек индуктивности диаметром 1 м и низкочастотного генератора ГРМ-3. Для контроля гармонического колебания использовался одноканальный лучевой осциллограф С1-114/1. В нашем исследовании применяли многократные ежедневные трехчасовые экспозиции ПеМП СНЧ, именно такова средняя продолжительность геомагнитных возмущений на данной частоте [7].

Проверка полученных данных на закон нормального распределения позволила применить параметрический метод в статистической обработке и анализе материала исследования. Вычисляли среднее значение исследуемых величин и ошибку средней. Оценку достоверности наблюдаемых изменений проводили с помощью t-критерия Стьюдента. За достоверную принимали разность средних при $p < 0,05$. Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Statistica и Microsoft Excel [8, 9].

В качестве основного метода анализа продолжительности периодов и амплитудно-фазных характеристик регенераторных процессов использовали быстрое преобразование Фурье, обеспечивающее разложение временного ряда на

конечное число элементарных периодических компонент, и программу косинор-анализа (решение систем линейных уравнений методом Крамера), дающие полное представление о структуре физиологических ритмов [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований выявили некоторые различия инфрадианной ритмики СД нерегенерирующих и регенерирующих планарий.

В инфрадианной ритмике СД нерегенерирующих планарий контрольной группы были выявлены следующие периоды: $\approx 2^d,3 \pm 0,002$; $\approx 2^d,7 \pm 0,002$; $\approx 3^d,3 \pm 0,001$ и $\approx 8^d,0 \pm 0,003$. Амплитуды выделенных ритмов колебались от $0,017 \pm 0,002$ усл.ед. до $0,022 \pm 0,003$ усл.ед. Доминирующим ритмом являлся $\approx 8^d,0 \pm 0,003$. В спектре регенерирующих планарий контрольной группы выявлены следующие периоды: $\approx 2^d,3 \pm 0,002$; $\approx 2^d,7 \pm 0,002$; $\approx 3^d,3 \pm 0,001$ и $\approx 5^d,8 \pm 0,002$, где доминирующим ритмом был период $\approx 5^d,8 \pm 0,002$ с амплитудой $0,013 \pm 0,002$ усл.ед.

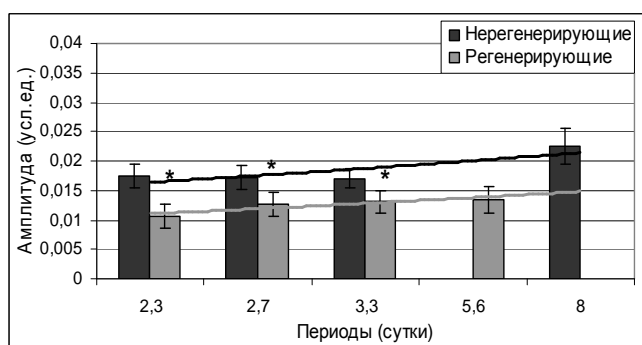


Рис. 1. Спектры периодов инфрадианных ритмов скорости движения интактных и регенерирующих планарий контрольных групп

Примечание: * - достоверность различий сравниваемых групп: * – ($p < 0,05$)

Таким образом, доминирующий ритм в контрольной группе регенерирующих планарий смещается в сторону высокочастотных ритмов, относительно доминирующего ритма в группе нерегенерирующих планарий. При этом отмечено, что амплитуды выявленных периодов регенерирующих планарий несколько ниже, чем в группе нерегенерирующих планарий (рис. 1). Инфрадианные ритмы такой продолжительности отмечены в деятельности различных физиологических систем у позвоночных [11–15], а также у беспозвоночных – моллюсков [16].

Косинор-анализ позволил выявить определенные межфазные соотношения у нерегенерирующих и регенерирующих планарий контрольных групп. Так, в периодах $\approx 2^d,7$ и $\approx 3^d,3$ отмечена тенденция к сдвигу фаз, которая составила $27,38^\circ$ и $276,39^\circ$ соответственно (рис. 2).

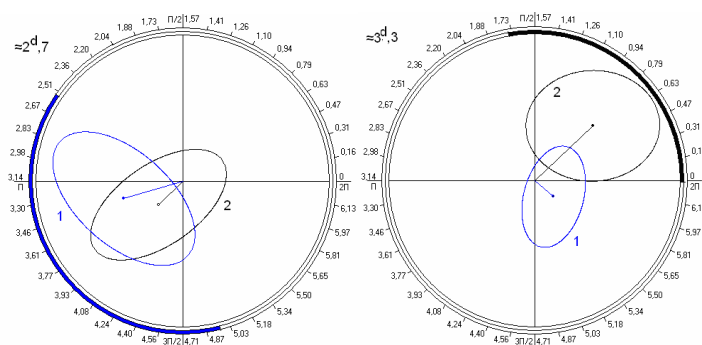


Рис. 2. Косинорограммы периодов $\approx 2^d,7$ и $\approx 3^d,3$ (радианы) скорости движения планарий контрольных групп: нерегенерирующих (1) регенерирующих (2).

Как показали результаты проведенных исследований, ПеМП СНЧ приводит к изменениям ИР СД планарий.

В ИР СД нерегенерирующих планарий, которые ежедневно подвергались воздействию ПеМП частотой 8 Гц, были выявлены следующие периоды: $\approx 2^d,3$, $\approx 2^d,7$, $\approx 3^d,3$ и $\approx 7^d,1$. В исследуемом спектре доминирующим периодом отмечен – $\approx 7^d,1$ с амплитудой $0,025 \pm 0,003$ усл.ед. То есть не выявляется период $\approx 8^d,0$, характерный для контрольной группы животных. При этом амплитуды выделенных ритмов под влиянием ПеМП СНЧ возрастают с увеличением длины периода, что более выражено, чем в контрольной группе (рис. 3).

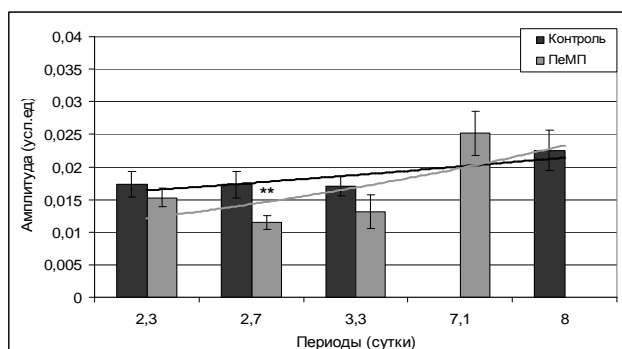


Рис. 3. Спектры инфрадианной ритмики скорости движения нерегенерирующих планарий контрольной группы и животных, подвергнутых влиянию ПеМП СНЧ

Примечание: * – достоверность различий относительно значений контрольной группы: ** – ($p < 0,01$)

Косинор-анализ позволил выявить определенные межфазные соотношения у нерегенерирующих планарий контрольной группы и животных, подвергавшихся влиянию ПеМП СНЧ. В высокочастотном периоде $\approx 3^d,3$ наблюдался достоверный

сдвиг фаз – 127° ($p_1 < 0,05$). Тогда как в периодах $\approx 2^d,3$ и $\approx 2^d,7$ отмечена только тенденция к их сдвигу (рис. 4).

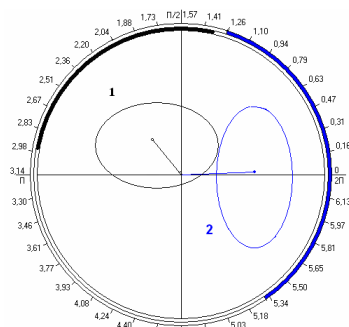


Рис. 4. Косинорограмма периода – $\approx 3^d,3$ (радианы) скорости движения нерегенерирующих животных контрольной группы (1) и подвергавшихся влиянию ПеМП СНЧ (2).

Таким образом, спектр ИР у нерегенерирующих животных, подвергнувшихся ежедневному воздействию ПеМП СНЧ, состоял из четырех периодов, что соответствовало контрольной группе, при этом не выявлялся самый длинный период $\approx 8^d,0$, но появляется новый ритм $\approx 7^d,1$. Последний и является доминирующим при действии ПеМП СНЧ. Следовательно, зарегистрировано смещение доминирующего периода относительно такового контрольной группы ($\approx 8^d,0$) в сторону высокочастотных ритмов. При этом его амплитуда была выше, чем в контроле и составила $0,025 \pm 0,003$ усл.ед. Кроме того, под влиянием ПеМП СНЧ отмечена более выраженная тенденция к повышению амплитуды с увеличением длины периода, чем в контроле. Также, отмечены достоверный фазовый сдвиг в периоде $\approx 3^d,3$ на 127° ($p_1 < 0,05$).

При действии ПеМП СНЧ изменялись спектры ИР СД и у регенерирующих животных. Спектр их СД состоял из трех периодов: $\approx 2^d,2$, $\approx 3^d,3$ и $\approx 5^d,8$, то есть ПеМП СНЧ приводит к исчезновению одного высокочастотного периода, характерного для контрольной группы животных – $\approx 2^d,7$. Изменений амплитуд не обнаружено. Однако при действии ПеМП СНЧ была отмечена более выраженная тенденция к повышению амплитуд с увеличением длины периода (рис. 5).

Косинор-анализ позволил выявить определенные межфазные соотношения у регенерирующих планарий контрольной группы и при воздействии ПеМП СНЧ. В выявленных периодах $\approx 2^d,2$, $\approx 3^d,3$ и $\approx 5^d,8$ были отмечены сдвиги фаз на $206,3^\circ$; $21,08^\circ$ и $304,5^\circ$ соответственно, однако эти данные были статистически не достоверны (рис. 6).

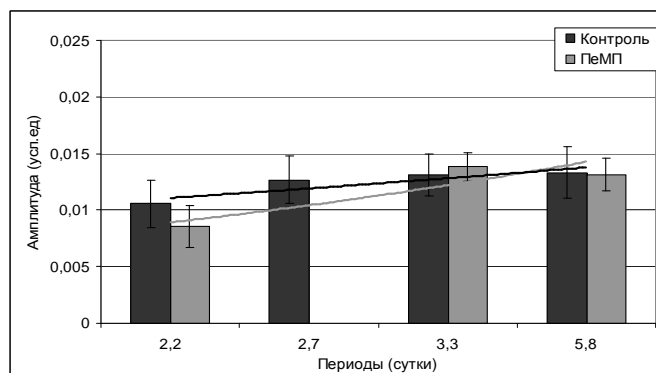


Рис. 5. Спектры инфрадианной ритмики скорости движения регенерирующих планарий контрольной группы и животных, подвергнутых влиянию ПеМП СНЧ

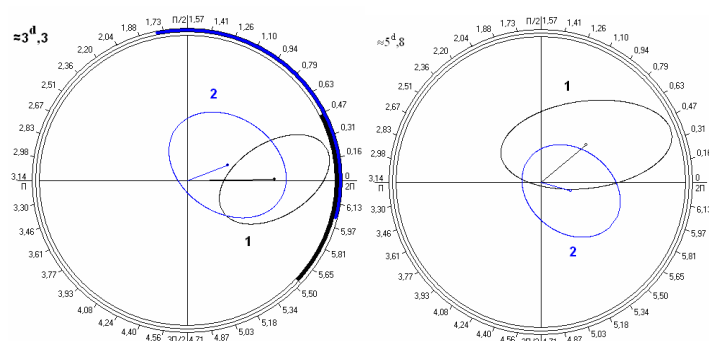


Рис. 6. Косинорограммы периодов – $\approx 3^d,3$ и $\approx 5^d,8$ (радианы) скорости движения регенерирующих животных контрольной группы (1) и подвергавшихся влиянию ПеМП СНЧ (2).

Таким образом, ПеМП СНЧ приводит к тому, что у регенерирующих животных спектр ИР СД становится менее насыщенным, так как не выявляется период $\approx 2^d,7$. В сравниваемых группах не отмечено достоверных изменений амплитуд выделенных ритмов. При этом наблюдалась тенденция к увеличению амплитуд выделенных ритмов с увеличением длины периодов, однако она была более выражена при действии ПеМП СНЧ. Однако во всех совпадающих периодах ИР СД регенерирующих планарий отмечена лишь тенденция к фазовым сдвигам.

Показано, что как возмущения ПеМП естественного происхождения, так и аперiodические влияния искусственных слабых ПеМП изменяют ритмическую деятельность различных физиологических систем. Так, у бактерий (*Photobacterium*) при возрастании интенсивности геомагнитного поля обнаружено повышение синхронизации биолюминесценции, зависящее от амплитуды и длительности магнитных бурь [17].

Изменение ритмических процессов во время магнитных бурь обнаружено у представителей различных типов животных. Так, работа М. Lindauer и Н. Martin [18] свидетельствует о нарушении циркадианной ритмики у некоторых насекомых под влиянием магнитных бурь. Авторы полагают, что нарушение околосуточной периодики у пчел во время геомагнитных возмущений препятствует их возвращению в родной улей.

Нарушение временной организации локомоторной активности в дни магнитных бурь обнаружено и у рыб. В.В. Александровым [19, 20] было показано изменение спектра биоритмов локомоторной активности карпа (*Cyprinidae*, *Carassus auratus*) при геомагнитном возмущении, проявляющееся в исчезновении периода длительностью ≈ 60 минут. Следует отметить, что при воздействии данного фактора обнаруживались смещения фаз локомоторной активности исследуемого объекта. Данный автор выявил также нарушение временной организации зоопланктона пресноводных бассейнов при магнитных бурях. Так, в результате данного исследования было установлено, что во время геомагнитных возмущений происходило интенсивное вертикальное перемещение планктеров в более глубокие слои воды, а также наблюдалось увеличение их численности [21].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о различной чувствительности нерегенерирующих и регенерирующих планарий к действию электромагнитных факторов. ПеМП СНЧ вызывает менее выраженную трансформацию ИР СД у регенерирующих планарий, чем у нерегенерирующих, у которых под их влиянием не только изменяются структуры спектров, но значительно сдвигаются фазы, т.е. развивается десинхроноз.

Эти данные находятся в соответствии с результатами других исследований. Как оказалось, характер влияния ПеМП на биологическую ритмику зависит от исходного состояния организма. Если ПеМП действует на животных, у которых имеет место десинхроноз любого генеза, наблюдается восстановление исходной временной организации системы. В пользу данного утверждения служат результаты исследования [22], в которых показано, что у крыс с моделированным гипокинетическим стрессом, сопровождающимся развитием десинхроноза, нормализация инфрадианной ритмики симпатoadреналовой системы (САС) наблюдалась уже после однократных воздействий ПеМП частотой 8 Гц. В дальнейшем были получены сходные данные при исследовании влияния ПеМП аналогичной частоты на эпифизэктомированных животных [23, 24].

Таким образом, изменения ИР под влиянием ПеМП СНЧ у регенерирующих и нерегенерирующих планарий неодинаковы. У нерегенерирующих планарий изменения более выражены. Исследования на беспозвоночных подтверждают данные о зависимости реакций от исходного состояния.

ВЫВОДЫ

1. Переменное магнитное поле сверхнизкой частоты вызывает изменения инфрадианной ритмики скорости движения нерегенерирующих и

- регенерирующих планарий, что выражается в изменении структуры спектров и амплитудно-фазовых соотношений.
2. Изменения инфрадианной ритмики нерегенерирующих планарий заключались в сужении спектра выявленных периодов за счет уменьшения 8-суточного периода до $\approx 7^d,1$, а также сдвиге фаз в периоде $\approx 3^d,3$. В спектре регенерирующих планарий действие переменного магнитного поля приводит только к исчезновению периода $\approx 2^d,7$.
 3. Изменения инфрадианной ритмики скорости движения более выражены у нерегенерирующих планарий, чем у регенерирующих.

Список литературы

1. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему / Сидякин В.Г. – Киев.: Наукова думка, 1986. – 160 с.
2. Демцун Н.А. Динамика скорости движения планарий, регенерирующих в условиях электромагнитного экранирования / Н.А. Демцун, Н.А. Темурьянц, М.М. Баранова // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61), № 2. – С. 24–32.
3. Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных: приспособление и среда / К. Шмидт-Ниельсен – М: «Мир», 1982. – С. 555–643.
4. Патент № 98095 Украины МПК51 А 01 К 61/00. Способ определения скорости движения интактных и регенерирующих планарий / Темурьянц Н.А., Баранова М.М., Демцун Н.А.; заявитель и правообладатель Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского. – № U 200908540; заявл.: 13.08.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл.№5.
5. Schumann W.O. Uber die Dämpfung der electromagnetischen Eigenwingungen des Systems Erde-Luft-Ionosphäre / W.O. Schumann // Naturwissenschaft. – 1982. – Vol. 7a. – P. 250–254.
6. Ашофф Ю. Биологические ритмы / Ашофф Ю. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 176 с.
7. Polk G. Resonances of ears ionosphere cavity – extremely low frequency reception at Kingston / G. Polk, F. Fitchen, W.O. Schumann // Radio Propagation. – 1962. – Vol. 3(66). – P. 313.
8. Лапач С.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. – К.: Модмон, 2000. – 319 с.
9. Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. / Боровиков В. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
10. Емельянов И.П. Формы колебания в биоритмологии / Емельянов И.П. – Новосибирск: Наука, 1976. – 127 с.
11. Темурьянц Н.А. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире / Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. – Киев. Наукова Думка, 1992. – 188 с.
12. Стригун Л.М. Биоритмы дегидрогеназ и гелиобиологические связи / Л.М. Стригун // Циклы природы и общества. – 1996. – № 2. – С. 143–149.
13. Чиркова Э.Н. Современная гелиобиология / Чиркова Э.Н. – М.: «Гелиос», 2005. – 250 с.
14. Шабатура Н.Н. Механизм происхождения инфрадианных биологических ритмов / Н.Н. Шабатура // Успехи физиол. наук. – 1989. – Т. 20, № 3. – С. 83–103.
15. Чуян Е.Н. Нейроиммуноэндокринные механизмы адаптации к действию низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты: автореф. дисс. ... доктора биол. наук: 03.00.13 «Физиология человека и животных» / Е.Н. Чуян – Симферополь, 2004. – 417 с.
16. Костюк А.С. Изменение инфрадианной ритмики болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens* при электромагнитном экранировании / А.С. Костюк, Н.А. Темурьянц // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61), № 4. – С. 87–94.
17. Бержанская Л.Ю. Нестационарный характер биолюминесценции в период возмущений геомагнитного поля / Л.Ю. Бержанская, В.Н. Бержанский, Т.Г. Старчевская // Биофизика. – 1995. – Т. 43, № 5. – С. 779–783.

18. Lindauer M. Die Schwere Orientierung der Bienen unter den Einfluss der Erdmagnetfeld / M. Lindauer, H. Martin // Z. vergl. Physiol. – 1968. – Bd. 60, № 219. – P. 43–45.
19. Александров В.В. Электрическое поле двигательной активности рыб и его корреляция с геомагнитными ритмами / В.В. Александров // Материалы симпозиума «Корреляции биологических и физико-химических процессов с солнечной активностью и другими факторами окружающей среды». – Пушино. – 1993. – С. 9–10.
20. Александров В.А. Электрокинетические поля гидробионтов. Биоритмы локомоторной активности. Связь с геомагнетизмом / В.А. Александров // Биофизика. – 1995. – Т. 40, № 4. – С. 771–777.
21. Александров В.А. Флуктуации естественных электромагнитных полей и ритм суточных вертикальных миграций зоопланктона / В.А. Александров, Л.А. Кутикова // Биофизика. – 1984. – Т. 29, № 5. – С. 1025–1030.
22. Темурьянц Н.А. Влияние слабых переменных магнитных полей крайне низких частот на инфрадианную ритмику симпатoadреналовой системы крыс / Н.А. Темурьянц, В.Б. Макеев, В.И. Малыгина // Биофизика. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 653–655.
23. Григорьев П.Е. Влияние переменного сверхнизкочастотного магнитного поля на синхронизацию ритмики физиологических процессов с электромагнитным фоном / П.Е. Григорьев, В.С. Мартынюк, Н.А. Темурьянц // Таврический медико-биологический вестник. – 2004. – Т. 7, № 1. – С. 154–158.
24. Шехоткин А.В. Влияние переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на инфрадианную ритмику количественных и функциональных характеристик лейкоцитов крови у интактных и эпифизэктомированных крыс : автореф. дисс. на соиск. научн. степени канд. биол. наук : спец. 03.00.13 «Физиология человека и животных» / А.В. Шехоткин – Симферополь, 1995. – 25 с.

Ярмолюк Н.С. Інфрадіанна ритміка швидкості руху регенеруючих і нерегенеруючих планарій *Dugesia tigrina* в умовах змінного магнітного поля наднизької частоти / Н.С. Ярмолюк // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2013. – Т. 26 (65), № 1. – С. 291-299.

Показано, що змінне магнітне поле наднизької частоти викликає зміни інфрадіанної ритміки швидкості руху нерегенеруючих і регенеруючих планарій, що виражається в зміні структури спектрів і амплітудно-фазових взаємин. Відзначено, що зміни інфрадіанної ритміки швидкості руху більш виражені у нерегенеруючих планарій, ніж у регенеруючих.

Ключові слова: швидкість руху, інфрадіанна ритміка, змінне магнітне поле наднизької частоти, планарії.

Yarmolyuk N.S. Influence of alternating magnetic field on the infradian rhythm of speed and regenerating planarians and don't regenerating *Dugesia tigrina* / N.S. Yarmolyuk // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2013. – Vol. 26 (65), No. 1. – P. 291-299.

It is shown that an alternating magnetic field causes the low frequency changes infradian rhythmic speed and regenerating planarians and don't regenerating, resulting in a change in the structure of the spectra and the amplitude and phase relationships. It is noted that the change of rhythm infradian speed more pronounced in planarians don't regenerating than regenerating.

Keywords: speed, infradian rhythm, alternating magnetic field of low frequency, planarians.

Поступила в редакцію 11.02.2013 г.